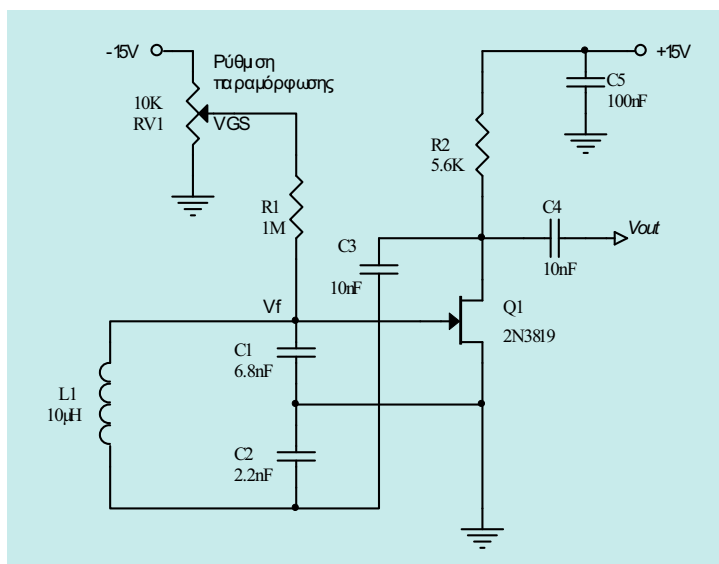


ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

Ταλαντωτές υψηλής συχνότητας

ΑΣΚΗΣΗ 1^η

Στον ταλαντωτή Colpitts με JFET του σχήματος 1-1 η απαραμόρφωτη τάση εξόδου είναι $V_{out}=6,5V_{p-p}$. Από τα υπόλοιπα στοιχεία του κυκλώματος να υπολογιστεί η συχνότητα ταλάντωσης f_o , η απολαβή του ενισχυτή A_V , ο συντελεστής ανάδρασης β , η τάση ανάδρασης V_f και η απολαβή κλειστού βρόχου A_{cl} . Να εξηγηθεί τι θα συμβεί στον ταλαντωτή αν η τάση V_{GS} μηδενιστεί. Δίνονται: $R_{\pi}=0,9\Omega$, $g_m=3,5 \cdot 10^{-3}\Omega^{-1}$.



Σχήμα 1-1

Λύση άσκησης

Η συχνότητα ταλάντωσης δίνεται από τη σχέση:

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_T}} \quad \text{όπου} \quad C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

Η ισοδύναμη χωρητικότητα τοποθετώντας τις τιμές του κυκλώματος ισούται με:

$$C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{6,8nF \cdot 2,2nF}{6,8nF + 2,2nF} = 1,662nF \quad C_T = 1,662nF$$

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{10 \cdot 10^{-6} \cdot 1,622 \cdot 10^{-9}}} = 1,235 \cdot 10^6 \text{ Hz}$$

$$f_o = 1,235 \text{ MHz}$$

Η απολαβή του ενισχυτή κοινής πηγής A_V είναι :

$$A_V = -g_m r_L \quad \text{όπου} \quad r_L = R_2 // Z_{\text{tank}}$$

$$Q = \frac{L\omega_o}{R_x} = \frac{10,10^{-6} \cdot 2\pi \cdot 1,235 \cdot 10^6}{0,9} = 86,5$$

$$Z_{\text{tank}} \approx QL\omega = 86,5 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 2\pi \cdot 1,235 \cdot 10^6 = 6712,17\Omega$$

$$r_L = \frac{Z_{\text{tank}} R_2}{Z_{\text{tank}} + R_2} = \frac{6712,17 \cdot 5600}{6712,17 + 5600} = 3052,93\Omega \Rightarrow r_L = 3052,93\Omega$$

Άρα $A_V = -g_m r_L = -3052,93 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} = -10,69 \Rightarrow A_V = -10,69$

Από το δίκτυωμα των πυκνωτών C_1 και C_2 το οποίο καθορίζει και το ποσοστό θετικής ανάδρασης προκύπτει ότι το β ισούται με :

$$\beta = \frac{C_2}{C_1} = \frac{2,2nF}{6,8nF} = 0,3235 \Rightarrow A_{C1} \frac{1}{\beta} = 3,09$$

$$V_f = \beta V_o = 0,3235 \cdot 6,5 = 2,1V_{p-p} \Rightarrow V_f = 2,1V_{p-p}$$

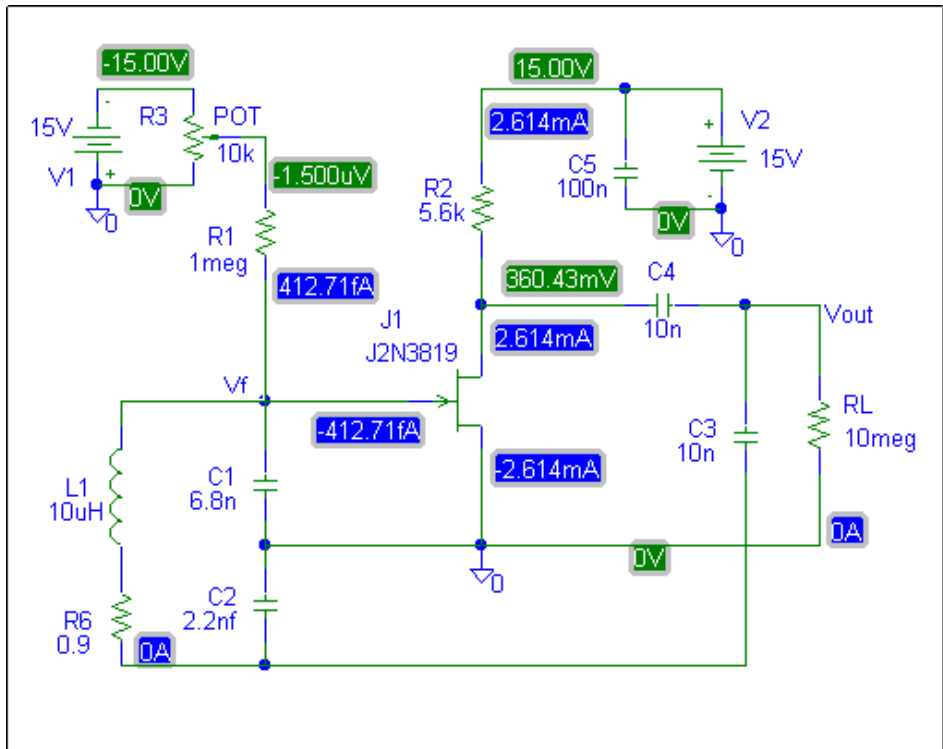
Για να έχουμε ταλαντώσεις πρέπει:

$$|A_V| \beta \geq 1 \Rightarrow 10,69 \cdot 0,3235 \geq 1 \Rightarrow 3,46 \geq 1$$

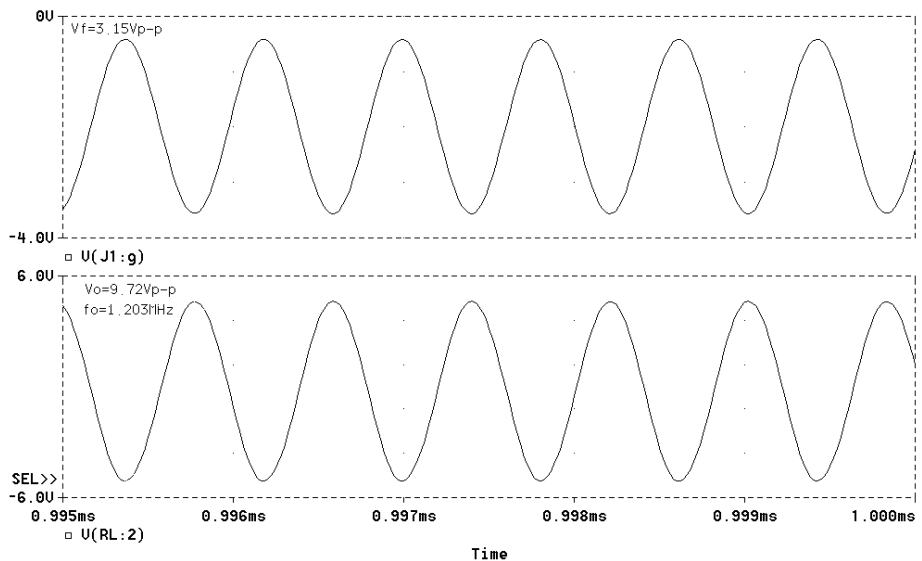
Επομένως ικανοποιείται η συνθήκη του Barkhausen η οποία και εξασφαλίζει τις ταλαντώσεις του κυκλώματος.

Απάντηση ερώτησης

Όταν η τάση V_{GS} μηδενισθεί επειδή το JFET είναι N καναλιού αυτό έρχεται σε κατάσταση κόρου με άμεσο αποτέλεσμα τη μεγάλη μείωση της απολαβής A_V και το σταμάτημα των ταλαντώσεων επειδή δεν ικανοποιείται το κριτήριο Barkhausen.

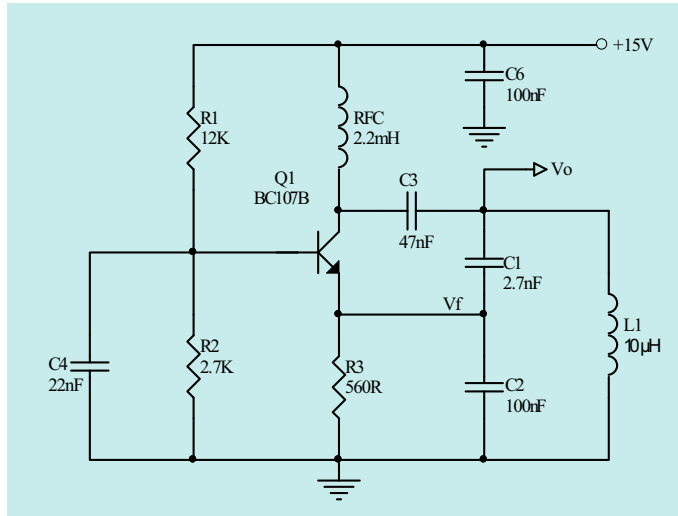
DC λειτουργία για $V_{GS}=0V$ 

Κυματομορφές



ΑΣΚΗΣΗ 2''

Στον ταλαντωτή Colpitts με BJT του σχήματος 1-2 να υπολογιστεί η συχνότητα ταλάντωσης f_o , η μέγιστη απαραμόρφωτη τάση εξόδου V_o , η τάση ανάδρασης V_f , ο συντελεστής ανάδρασης β και απολαβή κλειστού βρόχου του ταλαντωτή A_{cl} . Δίνονται: $R_{RFC}=24,2\Omega$ $V_{BE}=0,7V$ $R\pi=0,9\Omega$ $V_{CEsat}=0,1V$



Σχήμα 1-2

Λύση άσκησης

Η συχνότητα συντονισμού δίνεται από τη σχέση :

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_T}} \quad \text{όπου} \quad C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

$$C_T = \frac{2,7nF \cdot 100nF}{2,7nF + 100nF} = 2,63nF \Rightarrow C_T = 2,63nF$$

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{10 \cdot 10^{-6} \cdot 2,63 \cdot 10^{-9}}} = 0,981391 \cdot 10^6 \text{ Hz}$$

$$f_o = 981,391 \text{ KHz}$$

Η ισοδύναμη αντίσταση στο AC που εμφανίζεται στον συλλέκτη του τρανζίστορ είναι $Z_{tank} // Z_{RFC}$:

$$Z_{\tan k} = \frac{(L\omega_o)^2}{R_\pi} = \frac{(10 \cdot 10^{-6} \cdot 2\pi \cdot 0,981391 \cdot 10^6)^2}{0,9} = 4224,75\Omega$$

$$Z_{RFC} \approx L\omega_o = 2,2 \cdot 10^{-3} \cdot 2\pi \cdot 0,981391 \cdot 10^6 = 13565,77\Omega$$

Ο παράλληλος συνδυασμός των παραπάνω δύο αντιστάσεων ισούται με:

$$r_L = \frac{Z_{\tan k} Z_{RFC}}{\sqrt{(Z_{\tan k})^2 + (Z_{RFC})^2}} = \frac{4224,75 \cdot 13565,77}{\sqrt{(4224,75)^2 + (13567,77)^2}} = 4033,67\Omega$$

$$I_E = \frac{V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} - V_{BE}}{R_3} = \frac{15 \frac{2,7}{2,7 + 12} - 0,7}{560} = \frac{2,055}{560} = 3,67mA$$

$$I_E = 3,67mA \Rightarrow I_{EQ} \approx I_{CQ} = 3,67mA$$

$$V_{CBQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_\pi - V_{BQ} = 15 - 3,67 \cdot 10^{-3} \cdot 24,2 - 2,755 = 12,16V$$

Η μέγιστη τάση εξόδου του ταλαντωτή είναι:

$$V_{Omax} = V_{CBQ} + I_{CQ} r_L = 12,16 + 3,67 \cdot 10^{-3} \cdot 4033,67$$

$$V_{Omax} = 12,16 + 14,80 = 26,96V_{P-P}$$

Επειδή $V_{CBQ} < I_{CQ} r_L$ η μέγιστη απαραμόρφωτη τάση εξόδου είναι:

$$V_{Oαπαρ} = 2V_{CBQ} = 12,16 \cdot 2 = 24,32V_{P-P}$$

Η τάση ανάδρασης V_f υπολογίζεται από τον διαιρέτη τάσης στο AC των πυκνωτών C_1 και C_2 και ισούται με:

$$V_f = V_o \frac{\frac{1}{jC_2\omega_o}}{\frac{1}{jC_1\omega_o} + \frac{1}{jC_2\omega_o}} \Rightarrow V_f = V_o \frac{C_1}{C_1 + C_2} \Rightarrow \frac{V_f}{V_o} = \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

$$V_f = V_o \frac{C_1}{C_1 + C_2} = 24,32V_{P-P} \frac{2,7nF}{2,7nF + 100nF} = 0,639V_{P-P}$$

Η απολαβή κλειστού βρόχου είναι:

$$A_{cl} = \frac{V_o}{V_f} = \frac{24,32}{0,639} = 38,06$$

Η ισοδύναμη αντίσταση r_e εξαρτάται από τη θερμοκρασία και μια ικανοποιητική τιμή για εργαστηριακές εφαρμογές είναι:

$$r_e = \frac{25mV}{I_E mA} = \frac{25mV}{3,67mA} = 6,81\Omega \Rightarrow r_e = 6,81\Omega$$

Άρα η απολαβή του ενισχυτή ισούται με:

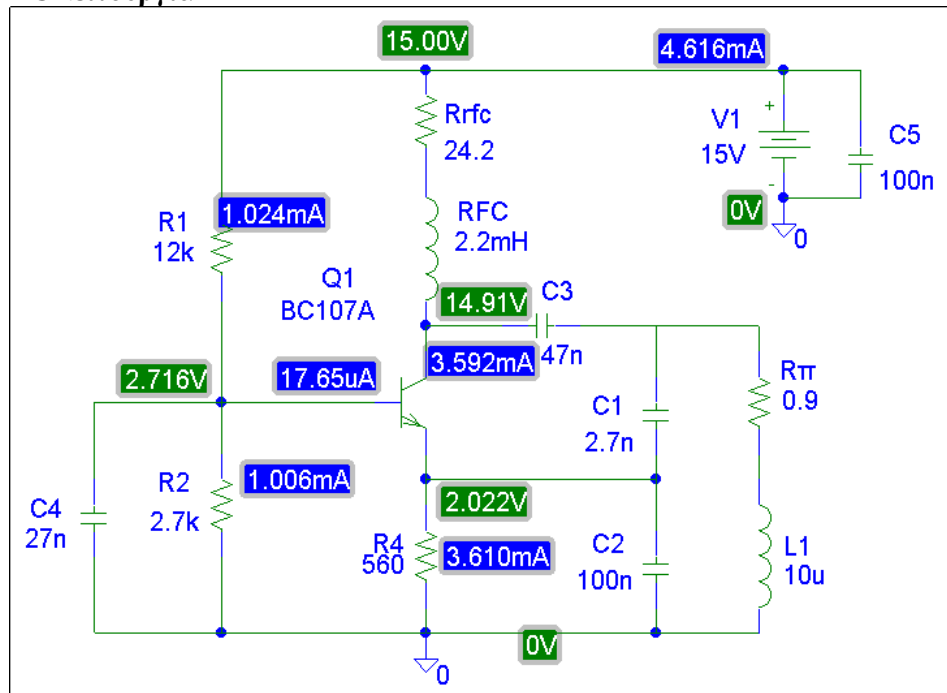
$$A_v = \frac{r_L}{r_e} = \frac{4033,67}{6,81} = 569,73 \Rightarrow A_v = 592,32$$

Πειραματικά αποτελέσματα

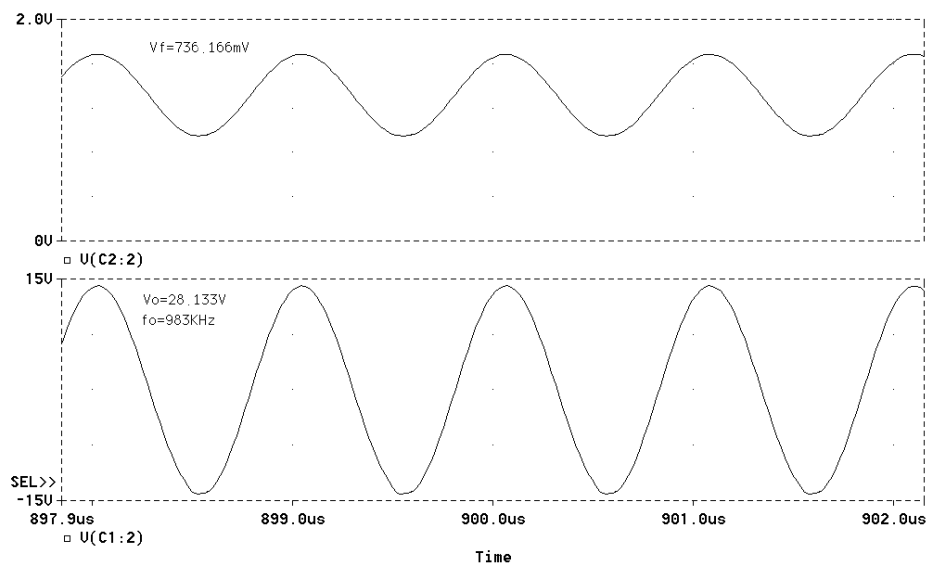
$f_o=981KHz$	$V_{O_{απ}}=15V_{P-P}$	$V_f=395mV_{P-P}$	$\beta=2,63 \cdot 10^3$	$A_{cl}=38,06$
--------------	------------------------	-------------------	-------------------------	----------------

Αποτελέσματα PSpice

DC λειτουργία

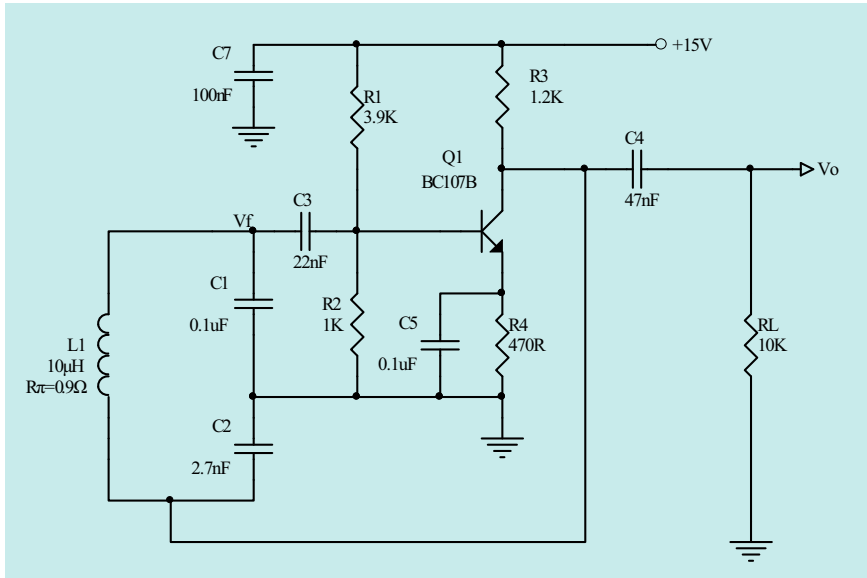


Κοιταμορφές



ΑΣΚΗΣΗ 3^η

Στο κύκλωμα του ταλαντωτή Colpitts του σχήματος 1-3 να υπολογιστεί η μέγιστη απαραμόρφωτη τάση εξόδου V_o , η τάση ανάδρασης V_f , η συχνότητα ταλάντωσης f_o , η απολαβή του ενισχυτή A_v , το ποσοστό ανάδρασης β και η απολαβή κλειστού βρόχου A_{cl} .



Σχήμα 1-3

Λύση άσκησης

Η συχνότητα ταλάντωσης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_T}} \quad \text{όπου} \quad C_T = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

Αντικαθιστούμε τις τιμές του κυκλώματος και έχουμε:

$$C_T = \frac{100nF \cdot 2,7nF}{100nF + 2,7nF} = 2,629nF \Rightarrow C_T = 2,629nF$$

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{10 \cdot 10^{-6} \cdot 2,629 \cdot 10^{-9}}} = 981,578KHz$$

Η απολαβή στη συνδεσμολογία κοινού εκπομπού είναι:

$$A_V = -\frac{r_L}{r_e + r_E}$$

$$\text{όπου: } r_L = R_3 // R_L // Z_{\tan k} \quad r_e = \frac{25mV}{I_E} \quad r_E \cong \frac{1}{C_5 \omega_0}$$

Η τάση βάσης, εκπομπού και τα ρεύματα συλλέκτη, εκπομπού είναι:

$$V_B = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 15 \frac{3,9}{1 + 3,9} = 3,06V \Rightarrow V_B = 3,06V$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 3,06 - 0,7 = 2,36V \Rightarrow V_E = 2,36V$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_4} = \frac{2,36V}{470\Omega} = 0,005A \Rightarrow I_E \cong I_C = 5mA$$

$$r_e = \frac{25mV}{I_{EQ}} = \frac{25mV}{5mA} = 5\Omega$$

$$r_E \cong \frac{1}{0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 2\pi \cdot 981,578 \cdot 10^3} = 1,62\Omega$$

$$Z_{\tan k} = \frac{(\omega L)^2}{R_\pi} = \frac{(2\pi \cdot 981,578 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-6})^2}{0,9} = 4226,36\Omega$$

$$r_L = \frac{(1200 // 10000) \cdot \frac{(10 \cdot 10^{-6} \cdot 2\pi \cdot 1,773 \cdot 10^6)^2}{0,9}}{(1200 // 10000) + \frac{(10 \cdot 10^{-6} \cdot 2\pi \cdot 1,773 \cdot 10^6)^2}{0,9}} = 996,73$$

$$r_L = 996,73\Omega$$

Άρα η απολαβή του ενισχυτή είναι:

$$A_V = -\frac{996,73}{5 + 1,62} = -\frac{996,73}{6,62} = -150,56 \Rightarrow A_V = -150,56$$

Η τάση συλλέκτη ως προς το κοινό είναι:

$$V_{CQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_3 = 15 - 5 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^3 = 9V \Rightarrow V_{CQ} = 9V$$

Η τάση συλλέκτη εκπομπού είναι:

$$V_{CEQ} = V_{CQ} - V_{EQ} = 9 - 2,36V = 6,64V \Rightarrow V_{CE} = 6,64V$$

Η μέγιστη τάση εξόδου του ταλαντωτή δίνεται από τη σχέση:

$$V_{Omax} = V_{CEQ} + I_{CQ}R_L = 6,64 + 5 \cdot 10^{-3} \cdot 996,73 = 6,64 + 4,98 = 11,62V_{P-P}$$

Επειδή $V_{CEQ} > I_{CQ}R_L$ η μέγιστη απαραμόρφωτη τάση εξόδου θα είναι:

$$V_O = 2 \cdot 4,98 = 9,96V_{P-P}$$

Η τάση ανάδρασης V_f του ταλαντωτή θα ισούται:

$$V_f = V_O \frac{C_2}{C_1} = 9,96 \frac{2,7}{100} = 0,268V_{P-P} \quad V_f = 268mV_{pp}$$

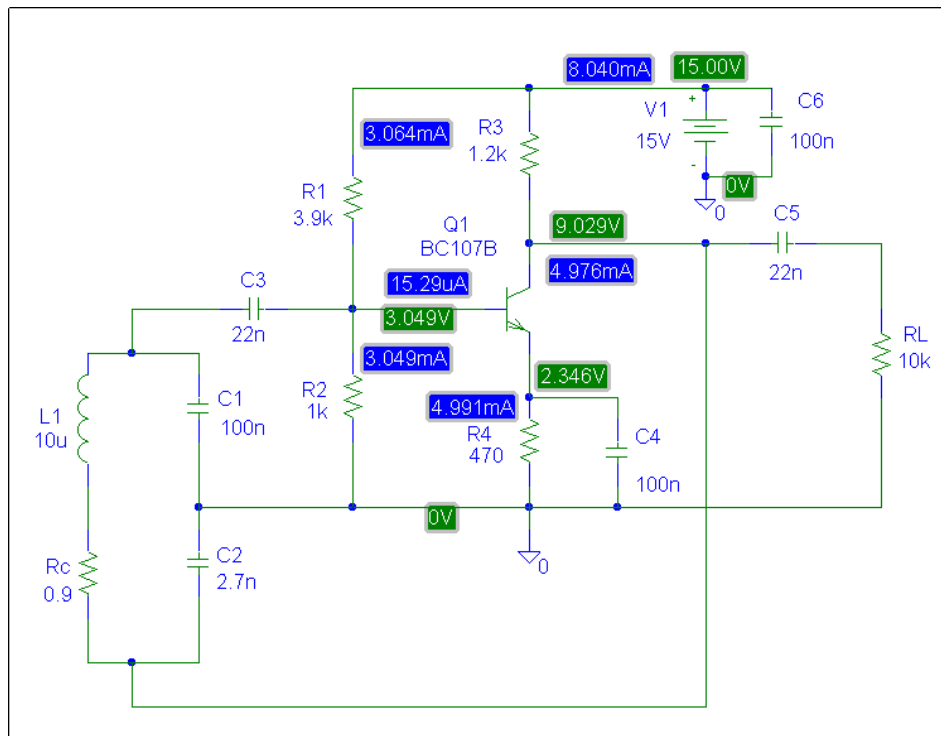
$$A_{cl} = \frac{V_O}{V_f} = \frac{9,96V}{0,268} = 37,16 \text{ και } \beta = \frac{1}{A_{cl}} = \frac{1}{37,16} = 0,027$$

Πειραματικά αποτελέσματα

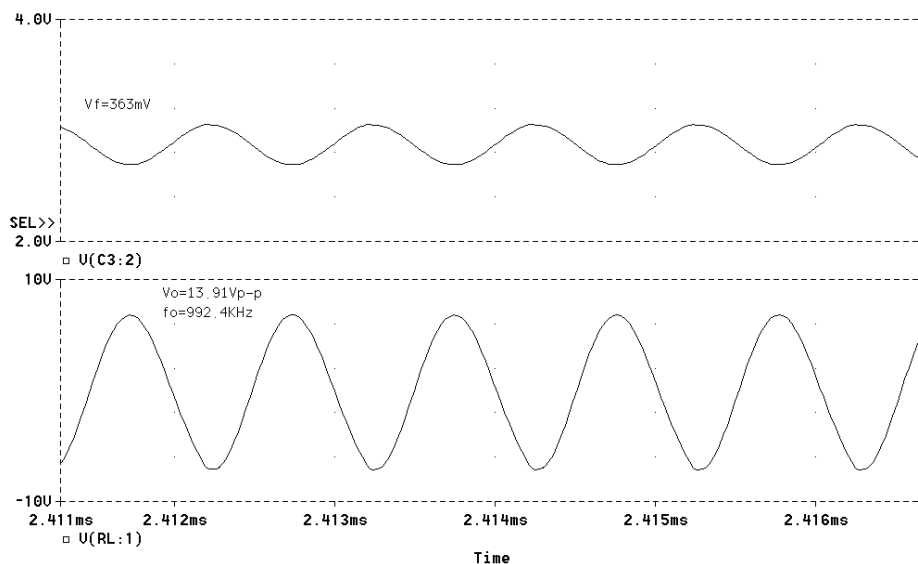
$f_O = 1MHz$	$V_O = 9,2V_{P-P}$	$V_C = 8,77V$	$I_{CO} = 5,2mA$
$T_O = 1\mu s$	$V_f = 220mV_{P-P}$	$V_E = 2,42V$	$V_{CEQ} = 6,37V$

Αποτελέσματα PSpice

DC λειτουργία

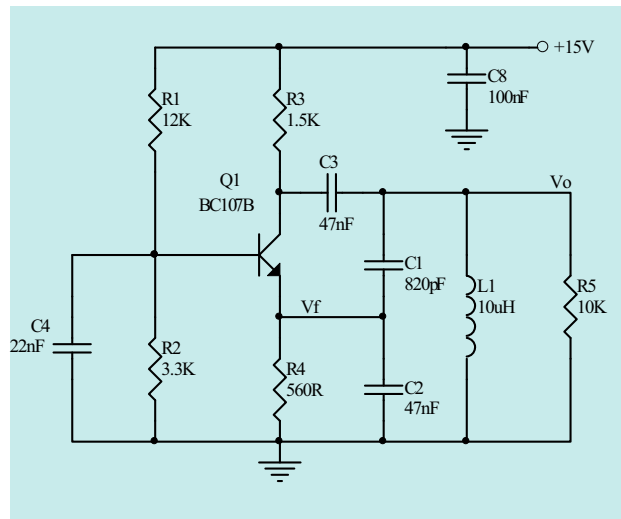


Κωματομορφές



ΑΣΚΗΣΗ 4^η

Στον ταλαντωτή Colpitts του σχήματος 1-4 να υπολογιστεί η μέγιστη παραμόρφωτη τάση εξόδου V_o , η τάση ανάδρασης V_f , η συχνότητα συντονισμού f_o , η απολαβή του ενισχυτή A_v , ο συντελεστής ανάδρασης β και η απολαβή κλειστού βρόχου A_{cl} . Να υπολογιστούν επίσης τα παραπάνω ζητούμενα μεγέθη για τη συνδεσμολογία κοινού εκπομπού με τα ίδια στοιχεία του κυκλώματος. Εξηγήστε τις διαφορές των δύο συνδεσμολογιών. Δίνονται: $V_{BE}=0,7V$ $R_x=0,9\Omega$.



Σχήμα 1-4

Λύση άσκησης

Η συχνότητα ταλάντωσης είναι:

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_T}} \quad \text{όπου} \quad C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

Αντικαθιστώ τους C_1 και C_2 :

$$C_T = \frac{47nF \cdot 0,82nF}{47nF + 0,82nF} = 0,806nF$$

$$C_T = 806pF$$

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{10 \cdot 10^{-6} \cdot 806 \cdot 10^{-12}}} = 1772770Hz$$

$$f_o \approx 1,773MHz$$

Η συνδεσμολογία του τρανζίστορ είναι κοινής βάσης οπότε η απολαβή ισούται με:

$$A_V = \frac{r_L}{r_e}$$

$$\text{όπου } r_L = \frac{(R_3 // R_5) Z_{\tan k}}{(R_3 // R_5) + Z_{\tan k}} \quad r_e = \frac{25mV}{I_E} \quad Z_{\tan k} = \frac{(L\omega_o)^2}{R_\pi}$$

$$V_{BQ} = 15 \frac{3,3}{3,3 + 12} = 3,23V \Rightarrow V_{BQ} = 3,23V$$

$$V_{EQ} = V_{BQ} - V_{BEQ} = 3,23 - 0,70 = 2,53V$$

$$I_{EQ} = \frac{V_{EQ}}{R_4} = \frac{2,53}{560} = 4,52mA \Rightarrow I_{EQ} = 4,52mA \Rightarrow I_{EQ} \approx I_{CQ} = 4,52mA$$

$$V_{CQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_3 = 15 - 4,52 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} = 15 - 6,30 = 8,70V$$

$$r_L = \frac{(1500 // 10000) \cdot \frac{(10 \cdot 10^{-6} \cdot 2\pi \cdot 1,773 \cdot 10^6)^2}{0,9}}{(1500 // 10000) + \frac{(10 \cdot 10^{-6} \cdot 2\pi \cdot 1,773 \cdot 10^6)^2}{0,9}} = 1191,85\Omega \Rightarrow r_L = 1191,85\Omega$$

$$r_e = \frac{25mV}{4,52mA} = 5,53\Omega \quad \text{και} \quad A_V = \frac{1191,85}{5,53} = 215,52$$

Η τάση ηρεμίας συλλέκτη-βάσης ισούται με:

$$V_{CBQ} = V_{CQ} - V_{BQ} = 8,70 - 3,23 = 5,47V$$

Η τάση εξόδου $V_{Omax(p-p)}$ είναι:

$$V_{Omax(p-p)} = V_{CBQ} + I_{CQ}r_L$$

$$V_{Omax} = 5,47 + 4,52 \cdot 10^{-3} \cdot 1,202 \cdot 10^{-3} = 5,47 + 5,43 = 10,90V_{p-p}$$

Άρα αν θεωρήσουμε ότι $V_{CEsat} = 0V$ η μέγιστη απαραμόρφωτη τάση εξόδου είναι:

$$V_O = 2 \cdot 5,43 = 10,86V_{p-p}$$

$$V_f = V_O \frac{C_1}{C_1 + C_2} = 10,86 \frac{0,82nF}{0,82nF + 47nF}$$

$$V_f = 10,86 \cdot 0,017 = 0,186V_{p-p}$$

$$V_f = 186mV_{p-p}$$

Το β και η A_{cl} είναι:

$$\beta = \frac{C_1}{C_1 + C_2} = \frac{0,82}{0,82nF + 47nF} = 0,017$$

$$\beta = 0,017$$

$$A_{cl} = \frac{1}{\beta} = \frac{1}{0,017} = 58,82$$

$$A_{cl} = 58,82$$

Απαντήσεις ερωτήσεων

Όταν με τα ίδια στοιχεία κάνουμε τη συνδεσμολογία του ταλαντωτή Colpitts κοινού εκπομπού της άσκησης 3 τότε αυτά που θα διαφέρουν είναι τα εξής:
Η απολαβή του ενισχυτή A_V θα είναι:

$$A_V = -\frac{r_L}{r_e + r_E} = -\frac{1202}{5,53 + 0,90} = -186,94 \Rightarrow A_V = -186,94$$

Η μέγιστη τάση εξόδου V_O θα είναι:

$$V_{O_{\max(P-P)}} = V_{CEQ} + I_{CQ}R_L$$

$$V_{O(\max)} = 6,17 + 4,52 \cdot 10^{-3} \cdot 1,202 \cdot 10^{-3} = 6,17 + 5,43 = 11,6V_{P-P}$$

Η μέγιστη απαραμόρφωτη τάση εξόδου είναι:

$$V_O = 2 \cdot 5,43 = 10,86V_{P-P} \Rightarrow V_O = 10,84V_{P-P}$$

Η απολαβή κλειστού βρόχου A_{cl} και ο συντελεστής ανάδρασης β είναι:

$$A_{cl} = \frac{C_2}{C_1} = \frac{47000pF}{820pF} = 57,32$$

$$A_{cl} = 57,32$$

$$\beta = \frac{1}{A_{cl}} = \frac{1}{57,32} = 0,017$$

$$\beta = 0,017$$

$$V_f = \beta V_O = 10,84 \cdot 0,017 = 0,189V$$

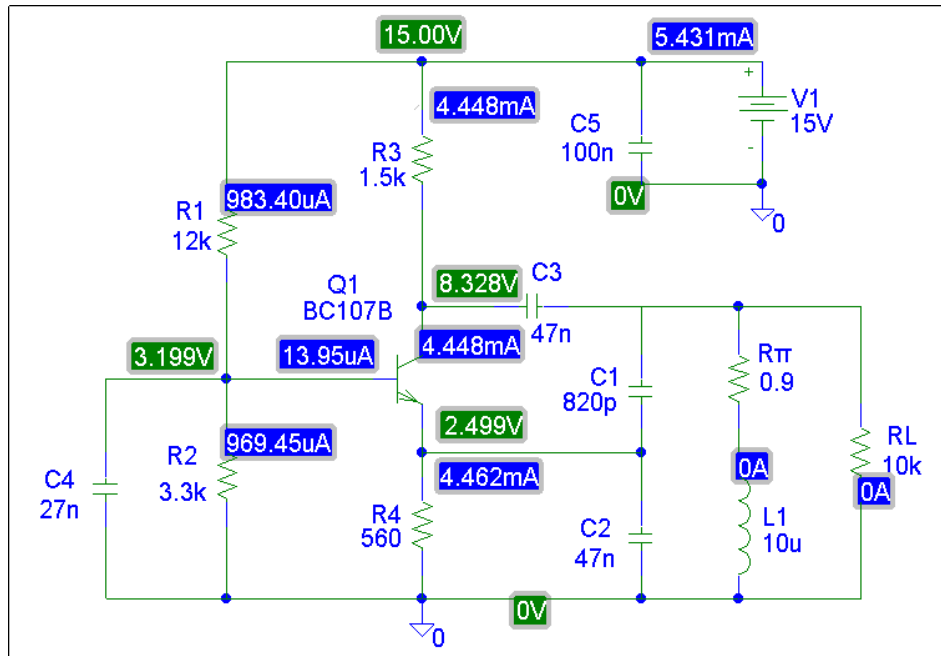
$$V_f = 184mV_{P-P}$$

Πειραματικά αποτελέσματα

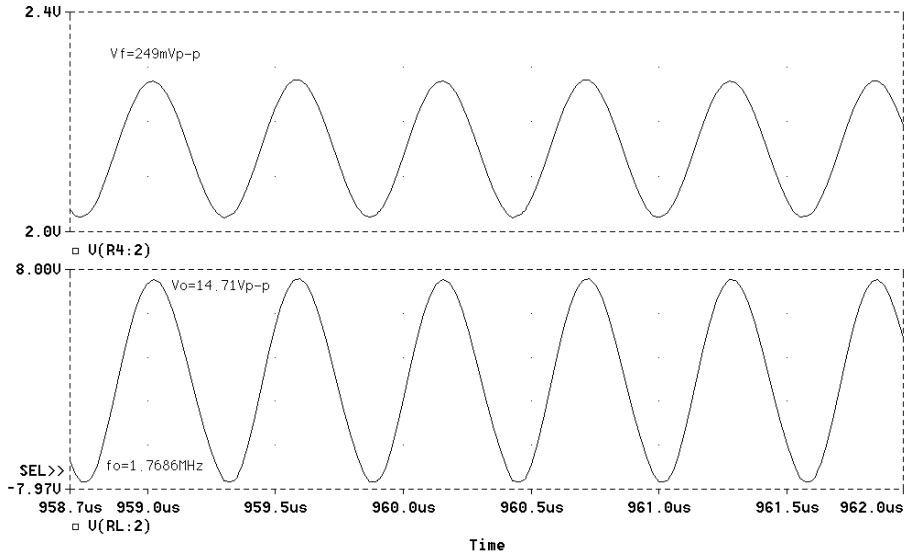
<i>Colpitts κοινής βάσης</i>	<i>Colpitts κοινού εκπομπού</i>
$V_{BO}=3,16V$	$V_{BO}=3,21V$
$V_{EO}=2,56V$	$V_{EO}=2,57V$
$V_{CO}=8,17V$	$V_{CO}=8,00V$
$V_{CBO}=5,68V$	$V_{CEO}=4,87V$
$I_{EO}=4,61mA$	$I_{EO}=4,62mA$
$V_f=200mV_{p-p}$	$V_f=190mV_{p-p}$
$f_O=1,64MHz$	$f_O=1,64MHz$
$T_O=0,61\mu s$	$T_O=0,61\mu s$
$V_O=12V_{p-p}$	$V_O=11,60V_{p-p}$
<i>Λίγο παραμορφωμένο στην αρνητική ημιπερίοδο</i>	<i>Λίγο παραμορφωμένο στην αρνητική ημιπερίοδο</i>

Αποτελέσματα PSpice

DC λειτουργία

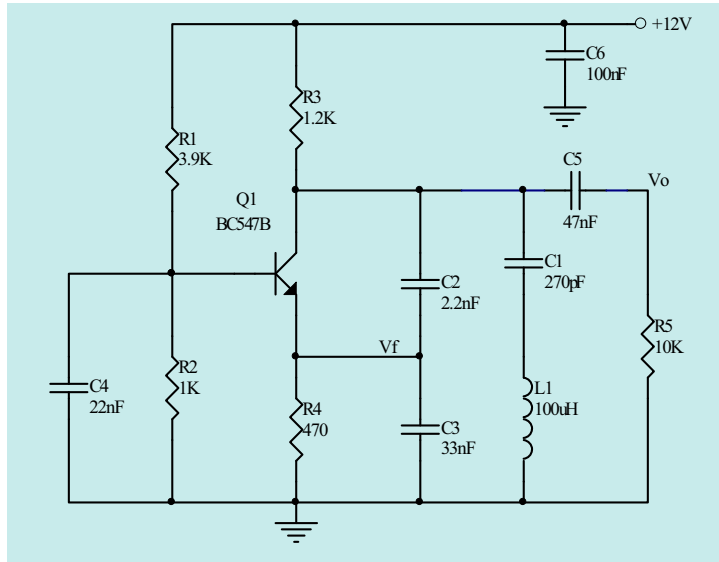


Κομματομορφές



ΑΣΚΗΣΗ 5^η

Στον ταλαντωτή Clapp του σχήματος 1-5 να υπολογιστεί η μέγιστη απαραμόρφωτη τάση εξόδου V_O , η τάση ανάδρασης V_f , η συχνότητα συντονισμού f_O , η απολαβή του ενισχυτή A_V , ο συντελεστής ανάδρασης β και η απολαβή κλειστού βρόχου A_{cl} . Δίνονται: $V_{BE}=0,7V$ $R_x=2\Omega$.



Σχήμα 1-5

Λύση άσκησης

Στην αρχή υπολογίζουμε τα συνεχή δυναμικά συλλέκτη, βάσης, εκπομπού καθώς και το ρεύμα συλλέκτη-εκπομπού.

$$V_B = V_C \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 12 \frac{3,9}{3,9 + 1} = 2,45V \Rightarrow V_B = 2,45V$$

$$V_E = V_B - 0,7 = 1,75V$$

$$V_E = 1,75V$$

$$I_E = \frac{1,75}{470} = 3,72mA$$

$$I_E = 3,72mA$$

Η τάση ηρεμίας συλλέκτη-βάσης είναι:

$$V_{CB} = V_{CC} - I_C R_3 - V_B = 12 - 3,72 \cdot 10^{-3} \cdot 1,2 \cdot 10^3 - 2,45 = 5,09V \Rightarrow V_{CB} = 5,09V$$

Η απολαβή του ενισχυτή κοινής βάσης υπολογίζεται από τη γνωστή σχέση:

$$A_V = \frac{Z_L}{r_e} \text{ όπου } Z_L = \frac{R_3 R_5 Z_{\tan k}}{R_3 R_5 + R_3 Z_{\tan k} + R_5 Z_{\tan k}} \text{ και } r_e = \frac{25mV}{I_E}$$

Η συχνότητα ταλάντωσης είναι:

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_T}}$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{2,2 \cdot 10^{-9}} + \frac{1}{33 \cdot 10^{-9}} + \frac{1}{270 \cdot 10^{-12}}$$

$$\frac{1}{C_T} = 4,19 \cdot 10^9 \Rightarrow C_T = 238,66 \cdot 10^{-12} \Rightarrow C_T = 238,66 pF$$

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{100 \cdot 10^{-6} \cdot 238,66 \cdot 10^{-12}}} = 1,030 \cdot 10^6 \text{ Hz} \Rightarrow f_o = 1,029 \text{ MHz}$$

$$Z_{\tan k} = \frac{(L\omega_o)^2}{R_x} = \frac{(100 \cdot 10^{-6} \cdot 2\pi \cdot 1,029 \cdot 10^6)^2}{2} = \frac{(647,17)^2}{2} = 209,41 \text{ K}\Omega$$

$$Z_L = \frac{1,2 \cdot 10 \cdot 209,41}{1,2 \cdot 10 + 1,2 \cdot 209,41 + 10 \cdot 209,41} = \frac{2512,92}{12 + 251,29 + 2094,1}$$

$$Z_L = \frac{2512,92}{2357,39} = 1,066 \text{ K}\Omega$$

$$r_e = \frac{25mV}{3,72mA} = 6,72\Omega \text{ και } A_V = \frac{1066}{6,72} = 158,63$$

Η μέγιστη τάση εξόδου είναι:

$$u_{CB(\max)} = V_{CBQ} + I_{CQ} Z_L = 5,09 + 3,72 \cdot 10^{-3} \cdot 1066 = 5,09 + 3,97 = 9,06 V_{P-P}$$

Άρα η μέγιστη απαραμόρφωτη τάση εξόδου και η τάση ανάδρασης είναι:

$$V_o = (5,09 + 3,97) - (5,09 - 3,97) = 9,06 - 1,12 = 7,94 V_{P-P} \Rightarrow V_o = 7,94 V_{P-P}$$

$$V_f = \frac{C_2}{C_2 + C_3} V_o = \frac{2,2}{2,2 + 33} 7,94 = 0,0625 \cdot 7,94 = 0,496 V_{P-P} \Rightarrow V_f = 0,496 V_{P-P}$$

$$\beta = 0,0625 \text{ και } A_{cl} = \frac{1}{\beta} = \frac{1}{0,0625} = 16 \Rightarrow A_{cl} = 16$$

Πειραματικά αποτελέσματα

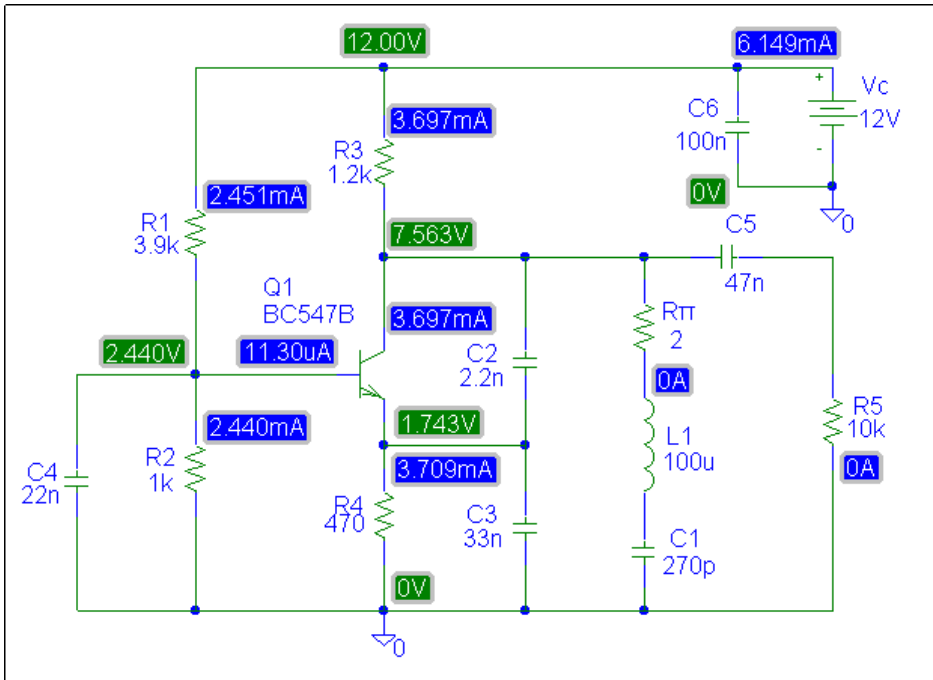
$V_{CB}=4,97V$	$V_C=7,45V$	$f_o=1,02MHz$	$A_{cl}=15,26$
$V_B=2,44V$	$I_{CO}=3,85mA$	$V_O=2,9V_{P-P}$	$V_f=0,19V_{P-P}$

Παρατηρήσεις

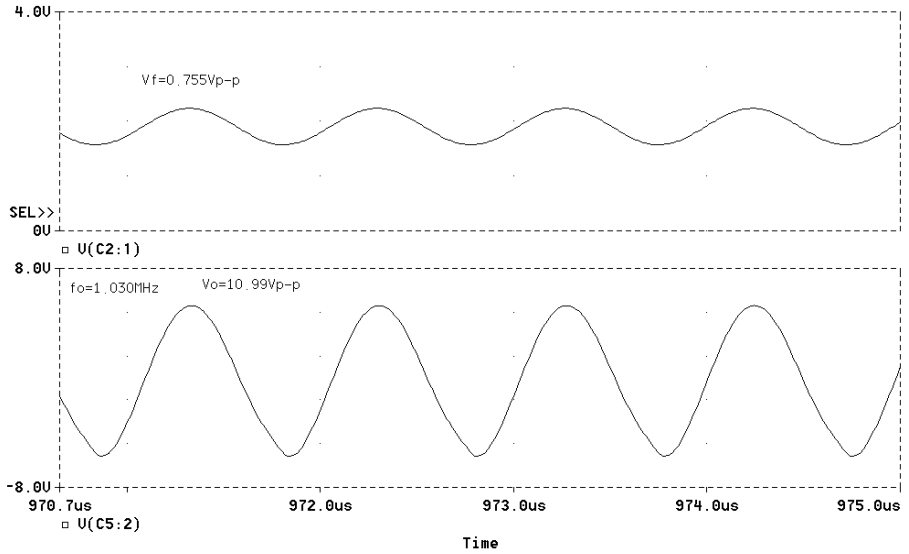
Οι αποκλίσεις από τις θεωρητικές τιμές των τάσεων V_f και V_O οφείλονται στην συνδεσμολογία Clapp. Επειδή το κύκλωμα σειράς του πηνίου L_1 , της ωμικής αντίστασης του πηνίου R_π και του πυκνωτή C_1 παρουσιάζει πολύ μικρή σύνθετη αντίσταση στη συχνότητα συντονισμού ($Z_s=73,72\Omega$), το ρεύμα γίνεται πολύ μεγάλο ($I_s=107,7mA_{P-P}$). Έτσι η καταναλισκόμενη ισχύς στην ωμική αντίσταση του πηνίου είναι μεγάλη ($P_D=2,92mW$) με αποτέλεσμα να έχουμε μείωση της τάσης εξόδου του ταλαντωτή λόγω μεγάλων απωλειών στο δικτύωμα ανάδρασης.

Αποτελέσματα PSpice

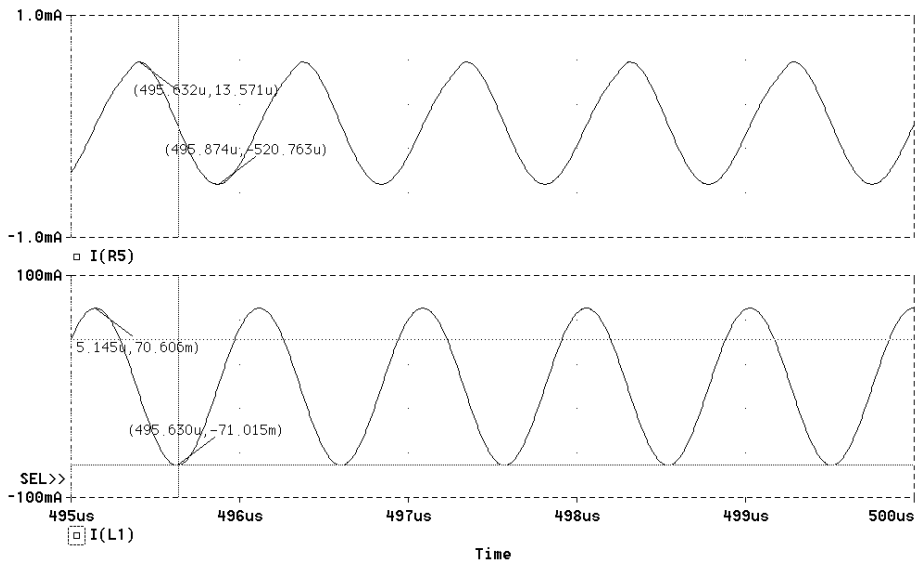
DC λειτουργία



Κοιτομορφές τάσεων

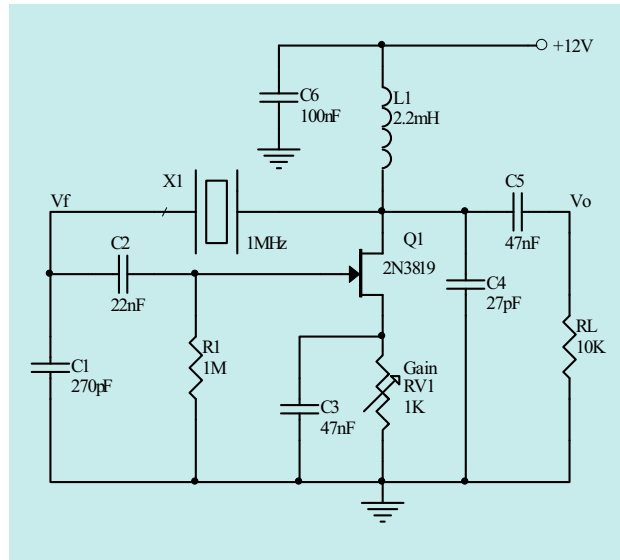


Κοιτομορφές ρευμάτων



ΑΣΚΗΣΗ 6^η

Στον κρυσταλλικό ταλαντωτή Pierce με JFET του σχήματος 1-6 η τάση εξόδου είναι $V_O=18V_{P-P}$ και η τάση ανάδρασης $V_f=1,8V_{P-P}$. Από τα στοιχεία του κυκλώματος να υπολογιστεί η απολαβή του ενισχυτή A_V , ο συντελεστής ανάδρασης β και η απολαβή κλειστού βρόχου A_{cl} . Να υπολογιστεί επίσης η τάση V_{GS} όταν το $I_{DSQ}=2,66mA$ και ο ροοστάτης R_I είναι τοποθετημένος στην αντίσταση $R_{V1(SET)}=436\Omega$. Δίνονται : $g_m=3,5mA/V$ $R_{RFC}=24,2\Omega$



Σχήμα 1-6

Λύση άσκησης

Η σχέση της απολαβής του ενισχυτή κοινής εκροής με JFET καθορίζεται από τη σχέση $A_V = -g_m Z_L$, όπου η Z_L είναι ο παράλληλος συνδυασμός των R_L , L_1 και C_4 .

$$Z_L = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R_L^2} + \left(\omega_o C_4 - \frac{1}{\omega_o L_1} \right)^2}}$$

$$Z_L = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{(10^4)^2} + \left(2\pi \cdot 10^6 \cdot 27 \cdot 10^{-12} - \frac{1}{2\pi \cdot 10^6 \cdot 10^6 \cdot 2,2 \cdot 10^{-3}} \right)^2}} = 7167\Omega$$

$$A_V = -3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 7167 = -25,08 \Rightarrow A_V = -25,08$$

$$\beta = \frac{V_f}{V_o} = \frac{1,8}{18} = 0,10 \Rightarrow \beta = 0,10 \quad \text{και} \quad A_{cl} = \frac{V_o}{V_f} = \frac{18}{1,8} = 10 \Rightarrow A_{cl} = 10$$

Η τάση V_{GS} είναι ίση και αντίθετης πολικότητας με την τάση πηγής (Source) και κοινού σημείου (GND):

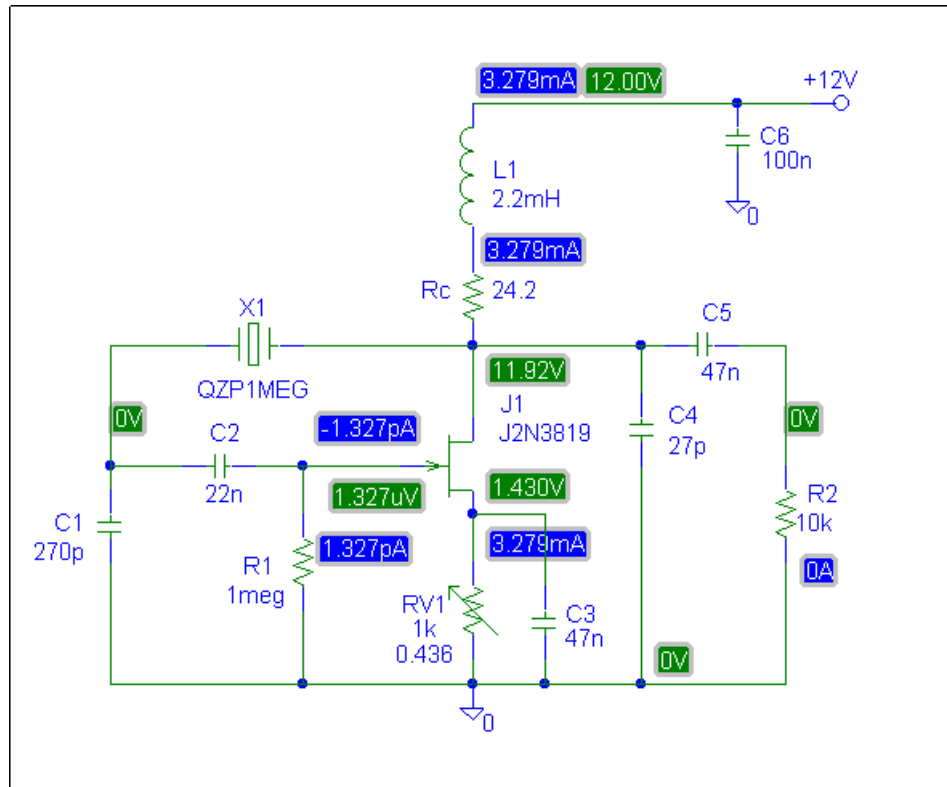
$$V_{GS} = -I_{DSQ} R_{V1(SET)} = -2,66 \cdot 10^{-3} \cdot 436 = -1,16V \Rightarrow V_{GS} = -1,16Volts$$

Πειραματικά αποτελέσματα

$V_D = 11,94V$	$I_{DS} = 2,66mA$	$V_O = 18V_{PP}$	$\beta = 0,10$
$V_S = 1,16V$	$V_{GS} = -1,16V$	$V_f = 1,8V_{PP}$	$A_{cl} = 10$

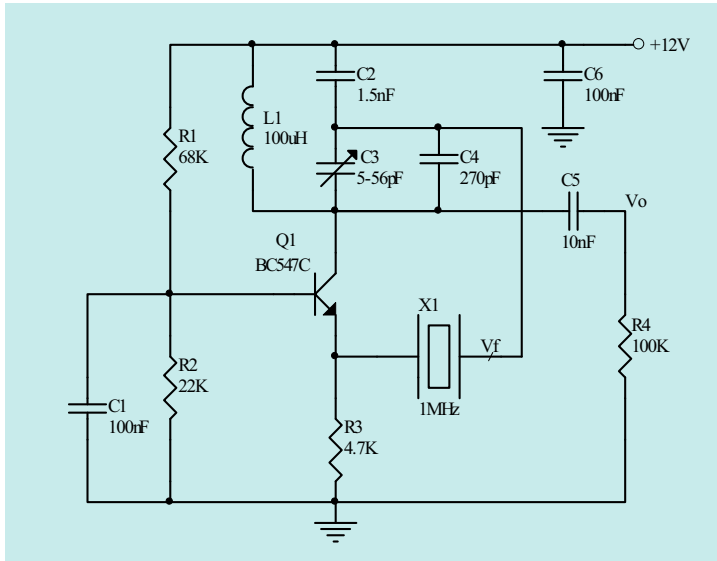
Αποτελέσματα PSpice

DC λειτουργία



ΑΣΚΗΣΗ 7^η

Στον κρυσταλλικό ταλαντωτή του σχήματος 1-7 να υπολογιστεί η χωρητικότητα C_3 για τη μέγιστη απολαβή του ενισχυτή, η μέγιστη απαραμόρφωτη τάση εξόδου V_O και η τάση ανάδρασης V_f . Να εξηγηθεί σε ποια συχνότητα συντονισμού, σειράς η παραλλήλου λειτουργεί ο κρύσταλλος στο κύκλωμα και γιατί; Δίνονται: $V_{BE}=0,65V$ και $R\pi=2\Omega$.



Σχήμα 1-7

Λύση άσκησης

Η τάση στη βάση και τον εκπομπό του τρανζίστορ είναι:

$$V_B = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 12V \frac{22K}{22K + 68K} = 2,93V$$

$$\text{άρα } V_E = 2,93 - 0,65 = 2,28V$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_3} = \frac{2,28}{4,7 \cdot 10^3} = 0,485 \cdot 10^{-3} A \text{ \textit{οπότε} } I_E \approx I_{CQ} = 0,485mA$$

$$r_e = \frac{25mV}{0,485mA} = 51,55\Omega$$

Για να έχουμε μέγιστη απολαβή στον ενισχυτή κοινής βάσης που είναι η συνδεσμολογία του τρανζίστορ, πρέπει το φορτίο στο εναλλασσόμενο να είναι το μέγιστο. Αυτό συμβαίνει στην συχνότητα συντονισμού του παραλλήλου κυ-

κλώματος LC . Η συχνότητα συντονισμού καθορίζεται από την ιδιοσυχνότητα του κρυστάλλου (1MHz).

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_T}}$$

$$C_T = \frac{1}{f_o^2 \cdot 4\pi^2 \cdot L} = \frac{1}{1 \cdot 10^{12} \cdot 39,48 \cdot 100 \cdot 10^{-6}}$$

$$C_T = 253,29 \text{ pF}$$

$$C_T = \frac{(C_3 + C_4)C_2}{C_2 + C_3 + C_4} \Rightarrow 253,29 \text{ pF} = \frac{(C_3 + 270 \text{ pF})1500 \text{ pF}}{1500 \text{ pF} + C_3 + 270 \text{ pF}}$$

$$C_3 = 34,75 \text{ pF}$$

Η σύνθετη αντίσταση του φορτίου του συλλέκτη Z_L είναι:

$$Z_L = \frac{\frac{(L\omega_o)^2}{R_\pi} R_4}{\frac{(L\omega_o)^2}{R_\pi} + R_4} = \frac{\frac{(100 \cdot 10^{-6} \cdot 2\pi \cdot 1 \cdot 10^6)^2}{2} \cdot 100 \cdot 10^3}{\frac{(100 \cdot 10^{-6} \cdot 2\pi \cdot 1 \cdot 10^6)^2}{2} + 100 \cdot 10^3}$$

$$Z_L = \frac{197,39 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^3}{197,39 \cdot 10^3 + 100 \cdot 10^3}$$

$$Z_L = 66374,12 \Omega$$

Η απολαβή του ενισχυτή είναι:

$$A_V = \frac{Z_L}{r_e} = \frac{66374,12}{51,55} = 1287,57$$

$$A_V = 11287,57$$

Από τη γνωστή σχέση υπολογίζουμε τη μέγιστη τάση εξόδου:

$$u_{CB(\max)} = V_{CBQ} + I_{CQ}Z_L = (12 - 2,93) + 0,52 \cdot 10^{-3} \cdot 66374,12 = 9,07 + 34,51$$

$$u_{CB(\max)} = 43,58V_{P-P}$$

Το μέγιστο απαραμόρφωτο σήμα εξόδου θα είναι:

$$V_O = u_{CB(\max)} - (34,51 - 9,07) = 43,58 - 25,44 = 18,4V_{P-P}$$

$$V_O = 18,4V_{P-P}$$